

В дальнейшем планируется провести тщательный анализ изолированного провода на 110 кВ.

Список литературы

1. Обзор рынка самонесущих изолированных проводов в России и СНГ [Электронный ресурс]. М. : INFOMINE Research Group, 2008. 12 с. URL: http://www.infomine.ru/files/catalog/288/file_288.pdf (дата обращения: 6.11.2014).
2. Кулешов Д. А., Мальгин В. П. Особенности монтажа самонесущих изолированных и защищенных проводов при строительстве воздушных линий электропередачи 0,38–35 кВ // Электротехнический рынок. 2006. № 3. С. 24–26.
3. Ильмар Ранг. Для энергосистем России // Энергия России. 2000. № 16. С. 3–4.
4. Мариничева О. СИП–7 для воздушных кабельных линий // Энергетика и промышленность России. 2013. № 10 (222).

УДК 621.313.333

Бакубаев Б. Т., Денисенко В. И., Пластун А. Т.
Уральский федеральный университет,
b.bakubaev@yandex.ru; kem_em@urfu.ru

РАЗРАБОТКА ВЫСОКОНАДЕЖНОГО АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С АСИММЕТРИЧНЫМ МАГНИТОПРОВОДОМ ДЛЯ ОСОБЫХ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ

В России и в мире накоплено достаточное количество радиоактивных отходов, которое необходимо перерабатывать при минимально возможном участии человека. Использование для оборудования по переработке отходов ядерного топлива двигателей общепромышленного применения с органической изоляцией нецелесообразно. Срок службы двигателей общепромышленного применения при работе в радиационной зоне сокращается до 2–3 месяцев, что требует частой замены двигателей и влечет за собой простой основного оборудования. Применение неорганической (керамической) радиационно-стойкой изоляции в серийных двигателях малой и средней мощности стандартной конструкции является невозможным из-за использования всыпной обмотки, которая характеризуется хаотическим расположением проводников в пазу, значительным изгибом провода, перекрещиванием лобовых частей.

Обмотка статора высоконадежного асинхронного двигателя для особых условий эксплуатации должна быть выполнена из сосредоточенных кашек простейшей формы с минимально возможным изгибом при намотке, чтобы исключить повреждение керамической изоляции и иметь возможность последующего ее «лечения». Для этих целей целесообразно применить конструкцию статора асинхронного двигателя с асимметричным магнитопроводом (АДАМ), разработанную коллективом кафедры электрических машин УрФУ совместно с ЗАО «Уралэлектромаш».



Статор опытного образца АДАМ,
разработанного в ЗАО «Уралэлектромаш»

Сердечник статора АДАМ (см. рисунок) состоит из шести модулей, число которых равно числу фазных зон. Модуль сердечника статора по длине машины разделен на две равные части с немагнитной прокладкой между ними. Наличие немагнитной прокладки снижает осевую составляющую потока пазового рассеяния. Стяжка сердечника модуля и крепление его половин выполняется с использованием технологических скоб, а также в результате намотки катушки на зубец. Кроме того, стяжка зубцовых накопников осуществляется с помощью специальных цилиндрических выступов подшипниковых щитов.

Разъем в ярме выполняется на границе фазных зон, что позволяет наматывать катушки на тело зубца и исключить перепад температуры между зубцом и ярмом статора. Для уменьшения величины и влияния стыкового зазора между сердечниками модулей на величину тока холостого хода и рабочие характеристики предварительно выполняют обработку поверхности стыка модулей для удаления гребенки. Для увеличения механической прочности и улучшения охлаждения собранный сердечник статора с обмоткой впрессовывается в корпус на горячую посадку. Наличие стыковых зазоров компенсируется уменьшением рабочего зазора на 0,05–0,1 мм по сравнению с серийными двигателями аналогичной мощности. Уменьшение рабочего воздушного зазора потребовало применения «сквозной» конструкции машины, позволяющей обеспечить минимальные допуски при механической обработке статора и ротора.

Благодаря конструкции сердечника статора АДАМ стало возможным применение неорганических изоляционных материалов для обеспечения работы двигателя в особых условиях эксплуатации.

Для обеспечения наилучшего отвода тепла от обмотки и повышения ее влагостойкости все межзубцовое пространство двигателя, а также полости между подшипниковыми щитами и статором, в которых находятся лобовые части, заливаются высокотеплопроводящим компаундом.

Для оценки методики электромагнитного расчета были выполнены расчеты опытного образца новой конструкции асинхронного двигателя с обычной органической изоляцией и проведено сравнение его расчетных и экспериментальных значений рабочих характеристик.

Методика расчета АДАМ разработана на основе классической методики электромагнитного расчета асинхронных двигателей общепромышленного исполнения. Особенности конструкции были отражены при расчете магнитной

цепи [1] и тока холостого хода АДAM [2, 3], а также при расчете параметров рассеяния обмотки статора [4]. Расчет рабочих характеристик был выполнен на основе Т-образной схемы замещения асинхронной машины [5].

Проведены испытания опытного образца АДAM мощностью 1,5 кВт с синхронной частотой вращения 3000 об/мин в соответствии с ГОСТом. Результаты испытаний в режимах холостого хода и номинальной нагрузки приведены в табл. 1 и 2. Расчеты характеристик опытного образца выполнены для воздушного зазора 0,5 мм и стыковых зазоров между модулями сердечника статора, равных 0,15 мм, найденных по результатам измерений его магнитной системы. Сравнение показывает, что разработанная методика электромагнитного расчета АДAM дает удовлетворительные результаты и может быть использована при проектировании асинхронных двигателей такой конструкции.

На основе разработанной методики электромагнитного расчета выполнен проект конструкции АДAM с керамической изоляцией. При применении «сквозной» конструкции двигателя, позволяющей выполнить двигатель с зазором 0,2–0,3 мм, и при выполнении стыковых зазоров между модулями сердечника, не превышающих значения 0,05 мм, рабочие характеристики АДAM с керамической изоляцией находятся на уровне их значений в серийных машинах.

Таблица 1

Реальный холостой ход

Данные испытаний	U_n , В	I_0 , А	P_0 , Вт	$P_{\Sigma 10}$, Вт	$P_{ст+P_{мех}}$, Вт	$P_{ст}$, Вт	$P_{мех}$, Вт
Опытные	220	3,2	297	144	153	133	20
Расчетные	220	3,2	316	142	175	155	20

АДAM целесообразно использовать в управляемом электроприводе, работающем в тяжелых и экстремальных условиях с длительным сроком эксплуатации, а также для работы в «грязных помещениях» атомных станций.

Таблица 2

Номинальный режим работы

Данные испытаний	U_n	$I_{ср}$	P_1	$\cos \varphi$	n	$P_{\Sigma 1}$	$P_{ст+P_{мех}}$	$P_{\Sigma 2}$	$P_{доб}$	P_2	s	КПД
	В	А	Вт		об./мин	Вт					%	%
Опытные	220	4,4	2195	0,71	2755	405	153	136	15	1486	8,2	67,8
Расчетные	220	5,2	2193	0,65	2787	382	175	123	11	1502	7,1	68,5

Список литературы

1. Бакубаев Б. Т., Денисенко В. И., Пластун А. Т. Особенности конструкции опытного образца асинхронного двигателя с асимметричным магнитопроводом // Эффективное и качественное снабжение и использование электроэнергии : сб. докл. 3-й Международной конференции в рамках выставки «Энергосбережение, отопление, вентиляция, водоснабжение», 15–17 мая 2013 г. Екатеринбург : УрФУ, 2013. С. 164–167.
2. Расчет магнитной цепи асинхронного двигателя с асимметричным магнитопроводом / А. Т. Пластун, В. И. Денисенко, С. Г. Авдеев, М. В. Мартыненко, И. В. Крупинин // Электрические машины и электромашинные системы : сб. науч. тр. Пермь : Пермский ГТУ, 2003. С. 218–224.

3. Расчет тока холостого хода асинхронного двигателя с асимметричным магнитопроводом / В. И. Денисенко, А. Т. Пластун, П. В. Пупырев [и др.] // Электрические машины и электромашинные системы: сб. науч. тр. Пермь : Пермский ГТУ, 2005. С. 98–103.
4. Denisenko V. I., Pupyrev P. V., Yarovoi A. Yu. Approach to the Leakage Conductance Calculation Method in Asynchronous Motor with Asymmetric Magnetic Core // Proceedings the 10th International Scientific and Practical Conference “Modern Techniques and Technology”. Tomsk : TPU Press, 2004. P. 72–73.
5. Разработка асинхронного двигателя с асимметричным магнитопроводом с керамической изоляцией / Б. Т. Бакубаев, В. И. Денисенко, А. Т. Пластун, В. Е. Недзельский // Электромеханика, электротехнологии, электрические материалы и компоненты: тр. XV Междунар. конф. МКЭЭЭ-2014, 21–27 сентября 2014 г. Алушта, 2014. С. 149–150.

УДК 621.182.448

Бельченко М. А., Попков Д. В., Лесных А. В.
Дальневосточный федеральный университет,
Popkov.d@mail.ru

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОЧИСТКИ ПОВЕРХНОСТЕЙ НАГРЕВА РАЗЛИЧНЫМИ РЕАГЕНТАМИ

На тепловых электрических станциях, котельных и тепловых пунктах потребителей тепла широко применяется трубчатое водогрейное оборудование, связанное с системами централизованного теплоснабжения: подогреватели сетевой и подпиточной воды на ТЭС и котельных, подогреватели горячего водоснабжения и отопления на тепловых пунктах. В процессе эксплуатации трубки теплообменного оборудования загрязняются с внутренней стороны различного рода отложениями, в том числе железистыми и карбонатными.

Загрязнение теплообменного оборудования влечет за собой:

- снижение тепловой производительности, связанное с падением фактических коэффициентов теплопередачи вследствие роста термического сопротивления трубок;
- увеличение температурных напоров в подогревателях сетевой воды, приводящих к ухудшению энергетических показателей и возможному перерасходу топлива;
- увеличение гидравлического сопротивления в трубках из-за уменьшения их проходного сечения и роста шероховатости.

Главным компонентом отложений в котлах является магнетит (Fe_3O_4), который формируется как продукт реакции металлического железа с высокотемпературным паром. Другие кристаллические материалы также могут формировать отложения.

Состав котловых отложений:

- ангидрит – CaSO_4 , арагонит – CaCO_3 , гидроксид магния – $\text{Mg}(\text{OH})_2$, кальцит – CaCO_3 ;